

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
РХТУ.2.6.08 РХТУ им. Д.И. Менделеева по диссертации  
на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело №32/23  
решение диссертационного совета  
от 27.02.2024 г. № 4

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Пояркову Андрею Александровичу, представившего диссертационную работу на тему «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран», на соискание ученой степени кандидата технических наук по научным специальностям 2.6.15 Мембраны и мембранная технология и 2.6.17 Материаловедение.

Принята к защите 17.10.2023 г, протокол №3 диссертационным советом РХТУ.2.6.08 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева".

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 11 человек приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 352А от «08» сентября 2022 г. Дополнительно в совет введено 5 человек.

Соискатель Поярков Андрей Александрович 1988 года рождения, гражданин Российской Федерации. Окончил факультет «Информатика и системы управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2009 году диплом серия ВСБ номер 0987753 от 22 июня 2009, в 2020 году окончил в аспирантуру Факультета наук о материалах МГУ им. М.В.Ломоносова диплом серия АА номер 002488 от 30 сентября 2020 г.

С сентября 2018 работает ассистентом на факультете наук о материалах МГУ им. М.В.Ломоносова.

Научные руководители: доктор химических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заместитель декана факультета наук о материалах МГУ Лукашин Алексей Викторович и кандидат химических наук, доцент факультета наук о материалах МГУ, Елисеев Андрей Анатольевич.

Официальные оппоненты:

Доктор химических наук, доцент, Гаврилова Наталья Николаевна, профессор кафедры коллоидной химии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Доктор технических наук, профессор, Назаров Виктор Геннадьевич, профессор кафедры инновационных материалов принтмедиаиндустрии ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет».

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН).

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 19 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 6

публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных. По результатам диссертационной работы получено 4 патента РФ и 1 международный патент. Недостоверные сведения об опубликованных работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые работы:

1. Tunable sieving of ions using graphene oxide: Swelling peculiarities in free-standing and confined states / A. A. Eliseev, K. E. Gurianov, A. A. Poyarkov et al. // *Nano Letters*. — 2023. — Vol. 23, no. 21. — P. 9719–9725. DOI 10.1021/acs.nanolett.3c02247 IF = 10.8 (Scopus, WoS)
2. Hollow fiber nanoporous membrane contactors for evaporative heat exchange and desalination / Poyarkov A. A., Petukhov D. I., Eliseev A. A. // *Desalination*. — 2023. — Vol. 550. — P. 116366. DOI 10.1016/j.desal.2022.116366. IF = 11.2 (Scopus, WoS)
3. Pervaporation desalination with graphene oxide membranes: The influence of cation type and loading / Gurianov K.E., Eliseev A.A., Poyarkov A.A., et al. // *Desalination*. — 2023. — Vol. 547. — P. 116238. DOI 10.1016/j.desal.2022.116238. IF = 11.2 (Scopus, WoS)
4. Nanoporous polypropylene membrane contactors for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S capture using alkali absorbents / Petukhov D.I., Komkova M.A., Eliseev Ar A., Poyarkov A.A., Eliseev An A. // *Chemical Engineering Research and Design*. — 2022. — Vol. 177. — P. 448-460 DOI 10.1016/j.cherd.2021.11.005. IF = 4.1 (Scopus, WoS)
5. Membrane condenser heat exchanger for conditioning of humid gases / Petukhov D.I., Komkova M.A., Poyarkov A.A., et al. // *Separation and Purification Technology*. — 2020. — Vol. 241. — P. 116697. DOI 10.1016/j.seppur.2020.116697. IF=9.1 (Scopus, WoS)
6. Operando study of water vapor transport through ultra-thin graphene oxide membranes / Eliseev A.A., Poyarkov A.A., Chernova E.A., et al. // *2D materials*. — 2019. — Vol. 6, no. 3. — P. 035039. DOI 10.1088/2053-1583/ab15ec. IF=6.9 (Scopus, WoS)
7. Применение технологий пертракции и капиллярной конденсации на микропористых мембранах для комплексной подготовки нефтяного газа / Д. И. Петухов, А. А. Поярков, А. А. Елисеев и др. // *Нефтяное хозяйство*. — 2018. — № 11. — С. 51–57. DOI 10.24887/0028-2448-2018-11-51-57
8. Porous polypropylene membrane contactors for dehumidification of gases / D. I. Petukhov, A. A. Eliseev, A. A. Poyarkov et al. // *Наносистемы: физика, химия, математика*. — 2017. — Vol. 8, no. 6. — P. 798–803. DOI 10.17586/2220-8054-2017-8-6-798-803
9. Removal of acidic components of associated petroleum gas by pertraction on microporous membranes / D. I. Petukhov, A. A. Poyarkov, E. A. Chernova et al. // *Нефтяное хозяйство*. — 2016. — no. 11. — P. 55–58

Все работы опубликованы в соавторстве. Личный вклад автора заключается в непосредственном участии в планировании работ, проведении экспериментов, анализе, обсуждении и обобщении полученных результатов, подготовке работ к публикации.

Результаты диссертации представлены на 8 международных и всероссийских конференциях:

1. Nanoporous membranes for evaporative heat exchange and air gap desalination (Стендовый) Авторы: **Поярков А.А.**, Елисеев Артем А., Елисеев Андрей А., Петухов Д.И. 5th International Conference on Desalination using Membrane Technology, Shanghai, China, Китай, 14-17 ноября 2021

2. Квазидвумерные наноструктуры для процессов массопереноса в жидкой и газовой фазе (Приглашенный) Авторы: Елисеев А.А., Петухов Д.И., Садилов И.С., Кан А.С., Чернова Е.А., Елисеев Ар А., **Поляков А.А.**, Лукашин А.В., Валеев Р.Г., Chumakov A.P., Konovalov O. Всероссийская школа молодых ученых "КоМУ-2020" (Ижевск, 14-16 октября 2020 г), Ижевск, Россия, 14-16 октября 2020
3. Study of vapor capillary condensation in symmetric and asymmetric nanoporous membranes and treatment of associated petro (Устный) Авторы: Eliseev A.A., **Poyarkov A.A.**, Eliseev A.A., Petukhov D I., Berekchiiian M.V. 15th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM 2018), Дрезден, Германия, 18-22 июня 2018
4. Осушение газов с помощью мембранного контактора газ-жидкость на микропористых полуволоконных мембранах (Стендовый) Авторы: **Поляков А.А.**, Петухов Д.И., Елисеев Ан А., Елисеев Ар А., Лукашин А.В. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018», МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, 10-11 апреля 2018
5. Очистка попутных нефтяных газов от кислых компонентов с использованием метода пертракции на микропористых мембранах (Стендовый) Авторы: Елисеев Ар А., **Поляков А.А.**, Елисеев Ан А., Лукашин А.В., Петухов Д.И. 52-ая Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния ФКС-2018, Санкт-Петербург, Сестрорецк, Россия, 12-17 марта 2018, Санкт-Петербург, Сестрорецк, Россия, 12-17 марта 2018
6. ОСУШЕНИЕ ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ПОЛОВОЛОКОННЫХ ПОРИСТЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНА (Стендовый) Авторы: **Поляков А.А.**, Петухов Д.И., Лукашин А.В., Елисеев Артем Анатольевич, Елисеев Андрей Анатольевич XVI Конференция молодых ученых «Актуальные проблемы неорганической химии: от фундаментальных исследований к современным технологиям», Звенигород, 17-19 ноября 2017 г., Звенигород, Россия, 17-19 ноября 2017
7. Изучение процессов массопереноса в нанопористых материалах (Стендовый) Авторы: **Поляков А.А.**, Пятков Е.С., Берекчиян М.В., Чернова Е.А., Лукашин А.В., Суртаев В.Н., Петухов Д.И., Елисеев А.А. XXIV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов – 2017", МГУ имени М.В.Ломоносова, Россия, 20 апреля 2017
8. Исследование процессов массопереноса через поры нанометрового размера (Стендовый) Авторы: **Поляков А.А.**, Пятков Е.С., Берекчиян М.В., Елисеев А.А., Лукашин А.В., Суртаев В.Н., Петухов Д.И., Чернова Е.А. LI школа ФГБУ «ПИЯФ» по физике конденсированного состояния (ФКС-2017), Санкт Петербург, Россия, 11-16 марта 2017

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Отзыв официального оппонента** - доктора химических наук, доцента, **Гавриловой Натальи Николаевны**, профессора кафедры коллоидной химии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» В отзыве отражена актуальность темы, научная новизна, практическая значимость, достоверность и надежность полученных данных. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и вопросы по диссертации:

1. В методической части не охарактеризованы используемые реагенты (жидкие абсорбенты) и их чистота (стр. 69). Для описания объекта суспензии оксида графита использовано неудачное выражение «коллоидный раствор» (стр. 74).

2. При исследовании пористых характеристик полученных мембран (полимерных, модифицированных) автор ограничивается данными электронной микроскопии. Имело смысл дополнить эту информацию традиционными методами исследования пористой структуры, которые позволяют получить значительно большую информацию об исследуемом объекте (порометрия, адсорбционные исследования и др.). Тем более, что часть этих параметров (размер пор, пористость) использовалась при разработке математической модели массопереноса в мембранном контакторе.

3. Автор не совсем корректно использует термин «нанопоры», и это приводит к дальнейшим спорным рассуждениям. Согласно классификации М.М. Дубинина (ИЮПАК) пористые материалы подразделяются на три класса: микропористые (размер пор менее 2 нм), мезопористые (от 2 до 50 нм) и макропористые (более 50 нм). Несмотря на то, что все эти поры относятся к нанометровому диапазону, механизмы сорбционных взаимодействий очень сильно различаются. Поэтому рассуждения автора о том, что «изотерма адсорбции десорбции типа H2 характерна для микропористых тел, имеющих пористую структуру с бутылочным горлом» вызывает недоумение, т.к. классификация петель гистерезиса, предложенная Де Буром имеет отношение все же к мезопористым, а не микропористым структурам. Тип петли, приведенный на рис. 4.46 (д), на который ссылается автор, может быть отнесен и к типу H4, которая характерна для узких мезопор щелевой формы, что может отразиться на трактовке полученных результатов.

4. На рис. 4.11 приведены зависимости вязкости растворов этиленгликоля. Если это экспериментальные данные, то в работе не указано каким образом они были получены.

5. На приведенных экспериментальных зависимостях эффективности удаления компонентов (рис. 4.4, 4.6., 4.7, 4.8., 4.14, 4.19, 4.20, 4.26, 4.31.), а также скоростей/степени отбора (рис.4.23, 4.24, 4.34) отсутствуют доверительные интервалы.

6. Замечания по оформлению. Первое цитирование литературы встречается во введении со ссылки [63], литературный обзор начинается со ссылки [208]. Технологические схемы, представленные на рис. 4.54 и 4.55 не читаемы, из-за слишком мелкого шрифта и обозначений. На многие данные, приведенные в таблицах и на рисунках в литературном обзоре (рисунки. 1.1 1,6, 1.8, табл.1.3., 1.4., 1.6, 1.7, 1.10), отсутствуют ссылки на литературные источники.

Заключение по работе положительное. Высказанные замечания снижают общего положительного впечатления о проведенном исследовании и не влияют на достоверность и обоснованность сделанных автором выводов.

#### **Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы**

Диссертация Пояркова А.А. является законченной научно-квалификационной работой, направленным на решение важной и актуальной задачи разработки новых нанопористых мембранных материалов и процессов выделения компонентов из газовых смесей на их основе для очистки и осушения природных и технологических газов.

Диссертационная работа соответствует паспортам специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (пункты 1-7) и 2.6.17. Материаловедение (пункты 1, 4, 8, 12),

Диссертационная работа по своей актуальности, научной новизне и практической значимости в полной мере удовлетворяет требованиям определенным Положением о

порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И.Менделеева №103ОД от 14.09.2023 г., а ее автор Поялков Андрей Александрович может претендовать на присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.15 Мембраны и мембранная технология и 2.6.17 Материаловедение.

**2. Отзыв официального оппонента** - кандидата технических наук, профессора **Назарова Виктора Геннадьевича**, профессора кафедры «Инновационные материалы принтмедиаиндустрии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский Политех).

В отзыве отражены актуальность темы, научная новизна, практическая значимость работы, достоверность результатов и выводов. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания и вопросы по диссертации:

1. Большое количество полученных экспериментальных данных в большинстве случаев не аппроксимировались какими бы то ни было статистическими или аналитическими модельными зависимостями (рис. 4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9б, 4.13, 4.14, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.31, 4.34). Как следствие, ряд утверждений об идентификации координат критических точек и/или оптимизации тех или иных рассмотренных процессов носит условный характер. Например, в параграфе 4.3.1 (стр.126) написано, что «На зависимости поглощения CO<sub>2</sub> появляются две характерные точки перегиба при уровнях насыщения абсорбента ~0.5 (соответствует Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и ~1 (соответствует NaHCO<sub>3</sub>). В случае H<sub>2</sub>S возникает только одна точка перегиба при степени насыщения абсорбента ~1 (NaHS), что свидетельствует об абсорбции кислых компонентов в виде различных ионных форм».

Во-первых, вторая точка перегиба зависимости эффективности извлечения углекислого газа от степени насыщения абсорбента наблюдается (а) при  $f \approx 0,8$ ;

- во-вторых, при использовании различных аппроксимирующих функций точки перегиба будут наблюдаться (а,б) при различных значениях независимой переменной (в точке перегиба производная второго порядка аппроксимирующей функции должна обращаться в ноль); следовательно, необходимо уточнять, какая именно математическая модель была использована при аппроксимации экспериментальных данных;

- в-третьих, из текста работы не ясно, связаны ли представленные теоретические кривые на (в,г) с решением системы дифференциальных уравнений (4.3) и каков уровень качества аппроксимации ими соответствующих экспериментальных данных.

2. На рисунке 4.41 (стр.159) представлены результаты рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для исходной и модифицированной полипропиленовых мембран. Не ясно, из каких соображений соискатель выбрал столь разные диапазоны значений независимой переменной (энергии связи) для демонстрации эффективности процесса модификации поверхности полимерной матрицы.

3. На рисунке 4.42 представлены результаты ИК-спектроскопии фторированного полипропилена. В известных работах по фторированию полимеров наличие прореагировавшего фтора (C-F связи) идентифицируются, как правило, в области 1000 1300 см<sup>-1</sup>; при этом при ~3000 см<sup>-1</sup> наблюдаются спектральные линии, которые обычно

идентифицируются как характеризующие связи между атомами углерода. Таким образом, из рис.4.42 можно сделать вывод о наличии структурных перестроек в модифицированном материале, но доказательством присоединения фтора к углероду представленный спектр, видимо, не является.

#### 4. Некоторые ошибки в тексте.

В формулах 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 4.1 (вероятно, при трансформации docx-файла в pdf) некорректно распознались индексы «in» при переменных.

На стр.46 представлены фразы «Соотношение проницаемостей воды и других растворителей достигает 104» и «Авторам удалось достичь проницаемости по отношению к парам воды до 81.5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>атм ч), при селективности в паре H<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub> более 104 (влажность сырьевой смеси 80%)», в которых, вероятнее всего, «104» следует читать как 10<sup>4</sup>(=10000)

На стр.61, вероятно, требуется убрать символ % из описания единицы измерения площади мембраны:

В расшифровке обозначений к формуле 4.2 должна быть убрана искажающая смысл запятая.

#### Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы

Сделанные замечания и обнаруженные неточности не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Методики выполнения измерений, описания испытательных стендов и приборов для проведения экспериментов, а также объекты исследований и полученные научные результаты достаточно подробно описаны в публикациях соискателя.

Сравнительный анализ диссертации, докладов, патентов и научных статей соискателя показывает, что основные результаты, составляющие научную новизну и практическую значимость диссертационной работы, сформулированные соискателем, опубликованы в статьях, ссылки на которые приведены в автореферате и в диссертации.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

В тексте диссертации не обнаружен заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования.

Диссертация Пояркова Андрея Александровича на тему «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран» по актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 № ЮЗОД, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научным специальностям 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки) и 2.6.17. Материаловедение (технические науки)

**3. Отзыв ведущей организации - федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук.** В отзыве отражена актуальность исследования, анализ содержания диссертационной работы, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов. Отзыв положительный.

Вопросы и замечания по работе:

1. В качестве одного из признаков новизны работы (стр.8) отмечено «Снижение химического потенциала удаляемых компонентов в подмембранном пространстве (при равенстве химических потенциалов остальных компонентов газовой смеси) позволяет значительно снизить потери подготавливаемого газа и обеспечивает высокую эффективность процесса за счет высокой проницаемости пористой мембраны.» Видимо стоило бы несколько конкретизировать эту формулировку. В общем виде она выглядит очевидной.

2. На рисунке 4.12 приведены температуры точки росы ретентата и остаточное содержание водяных паров в ретентате от расхода сырьевого газа для абсорбционно-рефрижераторного осушения газа с использованием абсорбентов различного состава. Не вполне понятно, как согласуется с законом сохранения то, что точка росы ретентата в пределах погрешности не меняется (рис.4.12а), в то время как степень удаления паров воды (рис.4.12.в) понижается. Подпись к рисункам 4.12 б,в не соответствуют их содержанию.

3. На стр. 16 автореферата автор пишет «Было установлено, что для оксида графена наблюдается существенное возрастание межплоскостного расстояния от  $\sim 8$  до  $\sim 11$  Å при увеличении парциального давления паров воды, соответствующее изотерме абсорбции паров типа  $H_2$  (рисунок 15а)». Как возрастание межплоскостного расстояния может соответствовать типу изотермы абсорбции?

4. В выводе 5 указано, что «Для осушения газовых смесей предложены ультратонкие (до 50 нм) газоплотные композиционные мембраны на основе слоев оксида графена». Видимо имеется в виду толщина селективного слоя? В противном случае какова будет прочность таких мембран.

Заключение по работе положительное. Отмечено, что приведенные замечания не снижают научную значимость представленных в диссертационной работе результатов и не влияют на ее положительную оценку.

#### **Общее заключение и оценка представленной диссертационной работы**

Диссертационное исследование Пояркова Андрея Александровича является завершенной научной работой, выполнено на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Основные результаты и выводы работы логичны, сделаны на большом экспериментальном материале и не вызывают сомнений. Работа по своей актуальности, научному уровню, объему выполненных исследований, новизне полученных результатов и их научной и практической значимости удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Представленные в работе данные позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа Пояркова А.А. является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химикотехнологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева №103ОД от 14.09.2023 г., а её автор, Поярков Андрей Александрович может претендовать на присуждение ученой степени кандидата

технических наук по специальностям 2.6.15 мембраны и мембранная технология и 2.6.17 материаловедение.

Диссертационная работа Пояркова Андрея Александровича «Интенсификация процессов массопереноса с использованием мембранных контакторов на основе нанопористых мембран» обсуждена, отзыв заслушан и одобрен на заседании секции «Физическая химия» Ученого совета Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, протокол № 11 от 08 ноября 2023 года.

**4. Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, и.о. с.н.с. лаборатории кремнийорганических и углеводородных циклических соединений ИНХС РАН, **Алентьева Дмитрия Александровича**. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания:

1. Из текста автореферата непонятно, какого состава сырьевые смеси газов использовались в экспериментах по абсорбционному и абсорбционно-рефрижераторному осушению. Из рисунка 5 можно понять, что это воздух, но это требует пояснения и вызывает вопрос, могут ли измениться характеристики мембраны если воздух заменить на газ, для осушения которого и предназначены такие мембранные контакторы (метан с примесью воды  $H_2S$  и  $CO_2$ ).

2. Чем обосновано различие абсорбентов, применяемых в абсорбционном и абсорбционно-рефрижераторном осушении газов (растворы этиленгликоля и триэтиленгликоля)?

3. Раздел «Научная новизна» оформлен несколько неоднообразно. Например, первое и последнее предложение логичнее было бы начать со слова «найлены» и «обнаружен» соответственно.

**5. Отзыв на автореферат** кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН **Валеева Ришата Галеевича**. Отзыв положительный. По автореферату имеется замечание:

Автором предложены ультратонкие (до 50 нм) мембраны на основе нанослоев оксида графена для осушения<sup>1</sup> и селективного разделения газов. Представлены результаты исследований межслоевого расстояния. Однако на процессы сепарации также могут влиять такие параметры, как степень окисленности графена, наличие и количество различных функциональных групп на поверхности слоев. Данные об этих характеристиках могут быть получены таким методом, как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, и их наличие могло бы повысить фундаментальную значимость работы. Какова эффективность удаления примесей кислых газов методом мембранно-абсорбционного газоразделения по сравнению с альтернативными методами?

**6. Отзыв на автореферат** доктора технических наук, заведующей кафедрой информационных технологий РХТУ им. Д.И.Менделеева **Кольцовой Элеоноры Моисеевны**.

Отзыв положительный. Однако, к автореферату есть замечания:

1. В автореферате не представлены собственно математическая модель массопереноса и структура информационной системы компьютерного моделирования, поэтому непонятно, диссертант сам разрабатывал программный продукт для решения уравнений математической модели или использовал прикладные пакеты для моделирования и массопереноса (тогда какие?).



2. Из автореферата непонятно какой размерности рассматривалась математическая модель (двумерная или трехмерная); так как от размерности существенно зависит сложность моделирования и построение расчетной сетки?

3. Также непонятно, откуда брались кинетические параметры (скоростей адсорбции и диссоциации сероводорода): из литературных источников, рассчитывались или определялись диссертантом из сопоставления с экспериментальными данными?

7. **Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, ведущего научного сотрудника ИНХС РАН **Шалыгина Максима Геннадьевича**. Отзыв положительный. Автореферат диссертации составлен с соблюдением всех формальных требований и оставляет приятное впечатление. Однако к работе, отраженной в автореферате, имеются замечания:

1. Автор очень часто использует слово «эффективность», оно встречается в тексте 40 раз. При этом, термин использован даже там, где это совсем не уместно, например, эффективностью названо парциальное давление  $H_2S$  на рис. 3.

2. Имеет место неаккуратное использование терминологии. Например, для определения одного и того же показателя использованы термины: «эффективность удаления, эффективность извлечения, степень удаления, степень извлечения». В другом случае величина размерности  $г\text{ моль}/(м^2\cdot с)$  названа сначала «удельной скоростью массопереноса», а далее «скоростью массопереноса», при этом величина размерности названа «производительностью», хотя нормирование потока на площадь, как правило, подразумевает удельный показатель.

3. При описании результатов технико-экономической оценки мембранных контакторов для систем очистки и осушения газов было бы уместно представить не только общие выводы о целесообразности и преимуществах, но также привести значения конкретных показателей по сравнению с используемыми в настоящее время системами.

На все замечания Поярковым Андреем Александровичем даны полные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основывается на компетентности оппонентов в соответствующей отрасли науки, наличия у них публикаций по научной специальности и тематике защищаемой диссертационной работы. В качестве ведущей организации выбрана организация, широко известная своими достижениями в соответствующей отрасли науки и способная определить научную и практическую ценности диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**Предложены** технические решения для селективного извлечения компонентов из газовых сред с использованием мембранных контакторов газ/жидкость, позволяющие реализовать:

– осушение влагонасыщенных газовых сред до точки росы подготовленного газа по воде менее  $-15^{\circ}C$  с эффективностью удаления паров воды до 95% и скоростью массопереноса паров воды до  $0.3\cdot 10^{-3}$  моль/ $(м^2\cdot с)$  с использованием растворов триэтиленгликоля в качестве абсорбентов;

– осушение влагонасыщенных газовых сред до точки росы подготовленного газа по воде менее  $-30^{\circ}C$  при степени удаления паров воды более 98% и скоростью

массопереноса паров воды до  $0.6 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>2</sup>·с) в комбинированном абсорбционно-конденсационном процессе;

– очистку газовых сред от кислых компонентов с начальным содержанием кислых газов до 10% до остаточного содержания менее 7 мг/м<sup>3</sup> для H<sub>2</sub>S и менее 0,01% для CO<sub>2</sub> с использованием растворов моноэтаноламина и NaOH в качестве абсорбентов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

Для мембранного абсорбционно-конденсационного осушения газов **показаны** основные закономерности эффективности извлечения компонентов от их содержания в исходном газе, степени насыщения жидкого абсорбента, предельной емкости абсорбента, потоков жидкой и газовой сред, давления процесса, температуры и трансмембранного давления.

**Разработана** математическая модель физико-химических превращений в мембранном контакторе газ-жидкость и проведено моделирование процесса массопереноса. Установлено, что ключевым параметром, определяющими эффективность и производительность процесса пертракции является массообмен в фазе жидкого абсорбента.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**Разработан** способ поверхностной модификации полуволоконной нанопористой мембраны из полипропилена путем создания покрытия из соединений, образующих фторсодержащие функциональные группы. Подтверждена стабилизация гидрофобных свойств поверхности модифицированной мембраны.

**Предложены** новые ультратонкие (до 50 нм) композиционные капиллярно-пористые мембраны на основе слоев оксида графена для процессов осушения газов. Исследована структура селективных слоев мембран в различных режимах эксплуатации. Установлено существенное изменение межслоевого расстояния в оксиде графена в диапазоне от 7,2 до 11,5 Å в зависимости от относительной влажности сырьевого потока и пермеата.

**Проведена** технико-экономическая оценка предложенных технических решений и показаны перспективы использования мембранных контакторов и комбинированных адсорбционно-рефрижераторных технологий для очистки и осушения газовых смесей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**Достоверность** результатов работы обеспечена использованием комплекса взаимодополняющих инструментальных методов физико-химического исследования при определении состава, структуры и свойств материалов: сканирующей электронной микроскопии, малоуглового рассеяния рентгеновского излучения на синхротронном источнике, ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния, измерения контактных углов смачивания, определения газовой и жидкостной проницаемости мембранных материалов, а также компонентного анализа состава сырьевого, ретентатного и пермеатного потоков с помощью газовой хроматографии.

**Личный вклад соискателя**

Личный вклад автора заключается в непосредственном формулировании и обосновании целей и задач, выборе методов исследования, проведения анализа и обработке полученных результатов. Автор формировал мембранные элементы,

проектировал экспериментальные установки для всех экспериментов, представленных в работе, принимал непосредственное участие в постановке задач, проектировании и апробации мембранно-абсорбционных модулей и экспериментальной работе по оценке их эффективности, а также статистической обработке полученных результатов и их интерпретации, формулировании выводов и положений и подготовке публикаций. Принимал непосредственное участие во всех промышленных испытаниях установок в рамках данной работы.

Работа полностью соответствует паспорту специальности 2.6.15 Мембраны и мембранные технологии (п.5 Мембранные процессы очистки, извлечения (кондиционирования) жидких и газообразных энергоносителей из смесей их содержащих природного, биогенного и техногенного происхождения. Комбинированные и гибридные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: абсорбцией, адсорбцией, ректификацией, дистилляцией); п.7 - Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, и методов борьбы с этим явлением).

Работа полностью соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (п.1. Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической, энергетической, машиностроительной, легкой, текстильной, строительной). п.4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физикомеханическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой. п.8. Разработка и компьютерная реализация математических моделей физикохимических, гидродинамических, тепловых, хемореологических, фазовых и деформационных превращений при производстве, обработке, переработке и эксплуатации различных металлических, неметаллических и композиционных материалов. Создание цифровых двойников технологических процессов, а также разработка специализированного оборудования. п.12. Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий).

Также работа удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном

государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. №103ОД.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.08 27.02.2024г. принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Пояркову Андрею Александровичу.

Присутствовало на заседании 14 человек, в том числе в режиме видеоконференции 5.

Докторов наук по научным специальностям рассматриваемой диссертации:

2.6.15 Мембраны и мембранные технологии – 8.

2.6.17 Материаловедение – 5.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за» 9,

«против» 0,

«воздержались» 0.

Проголосовали 5 членов диссертационного совета, присутствовавшие на заседании в режиме видеоконференции:

«за» 5,

«против» 0,

«воздержались» 0.

**Итоги голосования:**

«за» - 14,

«против» - 0,

«воздержались» - 0.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., проф. Каграманов Г.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета

к.т.н. Атласкин А.А.

Дата «27» февраля 2024 г.

